

# THREE-DIMENSIONAL LSI STACKED APPARATUS

Publication number: JP5160340

Publication date: 1993-06-25

Inventor: KOYANAGI MITSUMASA; TSUKAMOTO EIIHIKO; ITANI HIKOTARO; HORIUCHI SEIJI; MASUMOTO MASANORI; GOTO TAKAYUKI

Applicant: KOYANAGI MITSUMASA; MITSUBISHI HEAVY IND LTD

Classification:

- international: H01L21/02; H01L21/68; H01L27/00; H01L21/02; H01L21/67; H01L27/00; (IPC1-7): H01L21/02; H01L27/00

- european:

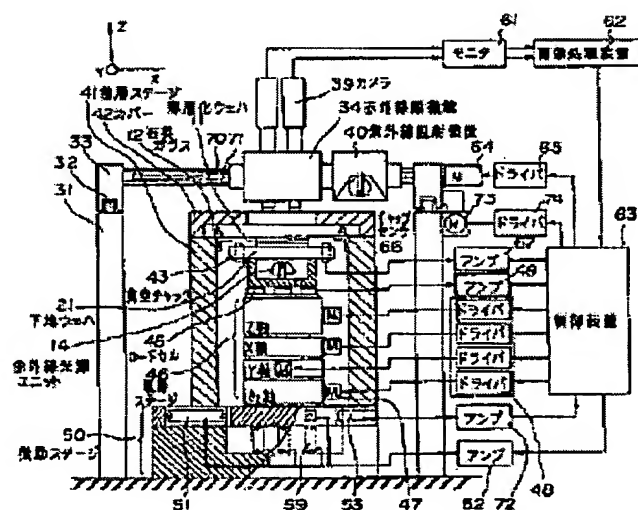
Application number: JP19910322899 19911206

Priority number(s): JP19910322899 19911206

Report a data error here

## Abstract of JP5160340

**PURPOSE:** To provide a three-dimensional LSI stacked apparatus capable of positioning and sticking d two-dimensional LSI with high precision. **CONSTITUTION:** Two wafers are positioned by a coarse adjustment stage 46 having a control spindle with four spindles or more and a fine adjustment stage 50 having a control spindle with six spindles. A sensor 66 for measuring a gap between the two wafers and a load cell 45 for detecting a load in the case of sticking are installed. Further, precise positioning and sticking are performed by detecting the deviation of two wafers with an infrared microscope 34, and the two wafers are fixed with an ultraviolet curing adhesive 14.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-160340

(43)公開日 平成5年(1993)6月25日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 27/00

// H 0 1 L 21/02

識別記号

3 0 1 A 8418-4M

B 8518-4M

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全 9 頁)

(21)出願番号 特願平3-322899

(22)出願日 平成3年(1991)12月6日

特許法第30条第1項適用申請有り 1991年11月2日発行  
の日刊工業新聞に掲載

(71)出願人 591272974

小柳 光正

広島県東広島市鏡山2丁目365 広島大学  
ががら第1職員宿舎3-403

(71)出願人 000006208

三菱重工株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72)発明者 小柳 光正

広島県東広島市鏡山二丁目365 広島大学  
ががら第1職員宿舎3-403

(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外1名)

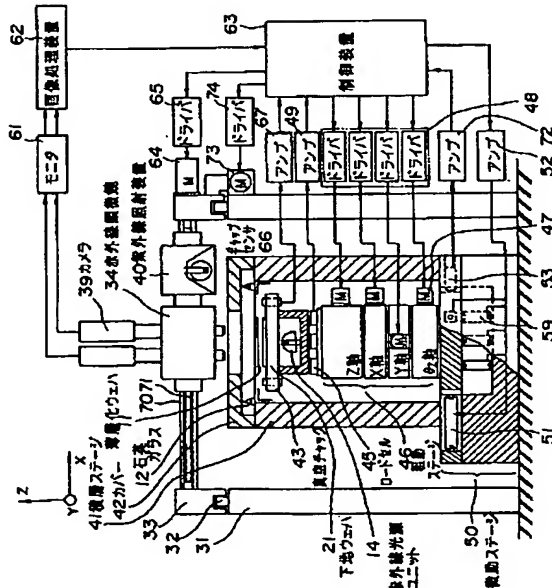
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 三次元L S I 積層装置

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 二次元L S Iを超精密に位置決めし、高精度に貼り合わせることがきる三次元L S I積層装置を提供することにある。

【構成】 4軸以上の制御軸を有する粗動ステージ46と、6軸の制御軸を有する微動ステージ50とにより二枚のウェーハを位置決めし、その間隔を測定するセンサ66及び貼り合わせ時の荷重を検出するロードセル45を設け、更に、二枚のウェーハの偏差を赤外線顕微鏡34により検出することにより、精密位置決めして貼り合わせ、紫外線硬化型接着剤14により固定するようにしたものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 X、Y、Zの3軸とこの各軸まわりの回転 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ のうち少なくとも1軸合計4軸以上の制御軸をもった大ストローク低分解能の粗動ステージと、X、Y、Zの3軸とこの各軸まわりの回転 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ の3軸合計6軸の制御軸をもった小ストローク高分解能の微動ステージと、前記粗動ステージ及び微動ステージによりXY方向位置合わせ及びZ方向の位置決め押し当てが可能な二枚のウェーハと、二枚のウェーハの垂直方向であるZ方向の間隔を検出するセンサと、ウェーハ貼り合わせ時の荷重を検出するロードセルと、二枚のウェーハの面内方向であるXY方向の位置偏差を検出する位置検出手段と、二枚のウェーハを接着剤により硬化接着する硬化接着手段と、両手段を移動位置決めする移動機構を有した装置において、前記位置検出手段により検出された二枚のウェーハのXY方向の位置偏差に基づいて、前記粗動ステージ及び微動ステージをクローズドループ制御することにより二枚のウェーハのXY方向位置合わせを行うと共に前記センサにより検出された間隔及び前記ロードセルにより検出された荷重に基づき、前記粗動ステージ及び微動ステージをクローズドループ制御することにより二枚のウェーハの平行度調整及び二枚のウェーハの押し当てを行う制御装置を設けたことを特徴とする三次元LSI積層装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体製品であるウェーハの積層を超高精度に行う三次元LSI積層装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来のLSI (Large Scale Integrated circuit: 大規模集積回路) は、回路機能ブロックが平面的、二次元的に集積された二次元LSIであり、回路パターンの微細化により高集積化、大容量化が進められてきているが、その微細化技術が飽和し、限界がみえはじめている。そこで、LSIをさらに高集積化、大容量化するために、二次元LSIを積み重ねて三次元的に集積化した三次元LSIが考えられている。

【0003】しかし、回路素子を単に三次元的に積層するだけでは、その層間の配線の増加、素子間の結合用配線による信号伝送時間の遅延という問題が生じる。この解決策の1つとして層間を光配線とする光結合三次元LSIが考えられている (特開昭61-3450号公報)。例えば、図6に示すように、三次元LSIの1つである三次元光結合共有メモリは、第1層ウェーハ1の発光素子15から、例えば“0”又は“1”の信号よりなる情報を光信号17で、第2層ウェーハ2の受光素子26に伝送する。

【0004】その情報信号は、配線により同層の発光素子25に伝達され、同様に発光素子25から光信号27

で、第3層ウェーハの受光素子36に伝送される。以下同様の手順で、第n層ウェーハ4まで瞬時に伝送され、同じデータをn個の各層が共有することになる。これを各層ごとに設けたCPU (演算処理装置) 5の制御のもとに各層毎のメモリ内容のデータを用いて、並列的に情報処理を行うことができ、制御用CPU6により総括して、系統的に処理される。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、光信号により情報伝送する場合において、例えば、第1層ウェーハ1の発光素子15と第2層ウェーハの受光素子26の位置偏差が大きいと、図6に示すように、第1層ウェーハ1から第2層ウェーハ2に伝送されるとき、隣接する受光素子28に、迷光7による誤った情報が伝送されるという問題がある。

【0006】このような迷光7の影響をできるだけ少なくするためには、水平方向間隔を大きくすればよいが、水平方向間隔を大きくすればするほど集積度が下がるという問題が生じる。この為、受光素子間隔は、迷光7の影響を受けないような最小間隔に設計するとともに、上下層間の素子間の位置偏差、即ち、ウェーハの面内方向であるXY方向及びその垂直方向であるZ方向の位置偏差が小さくなるようにして積層する必要がある。

【0007】本発明は、このような従来技術に鑑みてなされたものであり、層間の素子の位置が精密に位置合わせできるとともに貼り合わせできるようにした三次元LSI用積層装置を提供することを目的とするものである。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】先ず、貼り合わせる二枚のウェーハの一方を固定し、他の一方のウェーハを位置決め移動可能とし (あるいは二枚のウェーハの両方を位置決め移動可能とし)、この二枚のウェーハを顕微鏡で同時に観察して、二枚のウェーハの位置偏差を読み取る。次いで、この位置偏差を基に、片方のウェーハ (あるいは両方のウェーハ) を移動させて精密位置合わせを行う。この精密位置合わせの方法としては、弾性変形体と圧電素子又はサーボモータ等によるアクチュエータを利用した微動XYステージによりXY方向の精密位置合わせをサブミクロン、ナノメートル単位で行う。

【0009】精密位置合わせの前の粗位置決めについては、微動XYステージより大ストロークで低分解能の粗動XYステージ、例えば、アクチュエータとしてサーボモータ等を利用し、送りねじ等を駆動するものにより行なう。なお、この時の位置合わせ状況は、前述の顕微鏡で確認するとともに、移動テーブルの変位状況をセンサで検出する。ウェーハの位置合わせ後は、二枚のウェーハを押し当てて接着剤で接着する。この押し当てには、サーボモータ等のアクチュエータを利用した送りねじ駆動による粗動Zステージと、弾性変形体と圧電素子又は

サーボモータ等のアクチュエータを利用した微動Zステージを用いて行う。押し当てに際しては、ステージの移動量をギャップセンサで検出するとともに、ロードセルにより押し当て荷重を検出し所定の押し当て力になるようにクローズドループ制御を行う。押し当て後は、接着剤を硬化させて貼り合わせを完了する。

【0010】

【作用】三次元光LSIの積層方法を図7に従って説明する。即ち、同図(a)に示す二次元LSIは、第1層目になるウェーハ上に回路素子8を構成してなるものであり、先ず、この二次元LSIに同図(b)に示すようにワックス13を塗布して石英ガラス12に接着する。石英ガラス12とするのは、可視光及び赤外光を透過させるためである。

【0011】次に、同図(c)に示すように二次元LSIのウェーハ下地をラッピング、ポリシングにより削り薄層化して薄層化ウェーハ11とする。このように薄層化ウェーハ11をワックス13を介して固定した石英ガラス12を積層装置に固定する。その後、同図(d)に示すように、回路素子9を構成した別の二次元LSIである下地ウェーハ21に紫外線硬化型接着剤(又は嫌気硬化型接着剤)14を塗布した、を移動位置決め可能なステージに固定し、薄層化ウェーハ11と下地ウェーハ21のXY方向の位置合わせ及びZ方向の二枚のウェーハの平行調整を行う。

【0012】引き続き、位置合わせが終わると、同図(e)に示すように、粗微動Zステージにより下地ウェーハ21を薄層化ウェーハ11に押し当て、所定の押し当て荷重になるように調整しながら接着剤14を硬化させる。硬化後、同図(f)に示すように石英ガラス12からワックス13を溶剤で溶かして積層した三次元LSI20を得る。同図(a)~(e)に示す行程を同様に繰り返すことにより多層に積層することができる。

【0013】

【実施例】以下、図面に基づいて、本発明の実施例を詳細に説明する。図1に、本発明の一実施例に係る三次元LSI積層装置を示す。図1に示すように微動ステージ50上には、粗動ステージ46、3ヶ所のロードセル45、石英ガラス製の真空チャック43が順に積み重ねられると共にそれらを取り囲むように積層ステージ41が配置されている。積層ステージ41上には、石英ガラス12が載置されると共にカバー42により固定され、石英ガラス12の下面にはワックスにより薄層化ウェーハ11が接着されている。

【0014】更に、積層ステージ41の両側には、走行架台31が立設され、その走行架台31の上部にはY軸方向にガイドレール32が配設されている。このガイドレール32の間には、台車33がそれぞれ走行自在に装着され、Y軸駆動モータ73、Y軸モータドライバ74により、Y軸方向に移動可能である。台車33の間に

は、カバー42の上方において、X軸方向に沿ってX軸ガイドバー70、X軸ボールねじ71が配設されており、このX軸ガイドバー70、X軸ボールねじ71には赤外線顕微鏡40、カメラ39及び紫外線照射装置40が装着されている。X軸ボールねじ71は、X軸駆動モータ64、X軸モータドライバ65により回転することにより、赤外線顕微鏡40、カメラ39及び紫外線照射装置40をX軸方向に移動させることが可能となっている。X軸モータドライバ65、Y軸モータドライバ74は、制御回路63により制御されるよう構成されている。また、カメラ39により撮影された信号は、モニタ61、画像処理部62を介して、制御回路63へ送られるよう構成されている。

【0015】真空チャック43には、薄層化ウェーハ11に接着する下地ウェーハ21が吸着されており、下地ウェーハ21の上面には紫外線硬化型接着剤14が塗布されている。真空チャック43は、赤外線を透過させるため石英ガラス製としている。また、石英ガラス12とするのは、可視光及び赤外光を透過させるためである。紫外線硬化型接着剤14に代えて嫌気硬化型接着剤を使用しても良い。ここで、薄層化ウェーハ11は、図7に示すようにして作製される。即ち、同図(a)に示すように第1層目となるウェーハ上に回路素子8を構成して二次元LSIを形成し、更に、同図(b)に示すように二次元LSIにワックス13を塗布して石英ガラス12に接着する。その後、同図(c)に示すように二次元LSIのウェーハ下地をラッピング、ポリシングにより削り薄層化して薄層化ウェーハ11とする。また、下地ウェーハ21は、同図(d)に示すように、ウェーハに回路素子9を構成した別の二次元LSIのことである。

【0016】真空チャック43には、図3に示すように下地ウェーハ21のオリエンテーションフラット部21-aを位置決めするピン69と、下地ウェーハ21の外周の一点を位置決めするピン68とが取り付けられている。従って、ピン68、69により、真空チャック43上へ下地ウェーハ21が位置決めがなされる。真空チャック43には、円周上少なくとも3点以上に、上部石英ガラス12とのギャップを検出するギャップセンサ66が設けられている。ギャップセンサ66としては、静電容量型変位センサ又はレーザ変位計等を用いて高精度に検出される。なお静電容量型変位センサを用いる場合は、石英ガラス12のギャップセンサ66と対向する面に導電性のある金属等の材料を蒸着する必要がある。ギャップセンサ66の出力は、図1に示すアンプ67を介して積層装置の制御装置63に伝送され処理される。

【0017】真空チャック43の下部には、ウェーハの位置ずれを検出するための赤外光を発光する赤外線光源ユニット44が設けられている。ロードセル45は、下地ウェーハ21を薄層化ウェーハ11に押し当てて接着する時の荷重を検出するために、図3に示すように、円

周上少なくとも3点以上に設置されている。粗動ステージ46は、ウェーハの大まかな位置決めを行うもので、Z、X、Y及びZ軸回りの $\theta_z$ 軸の合計4軸の制御軸を有し、サーボモータ47等のアクチュエータにより送りねじ（図示省略）を駆動して移動位置決めする。尚、X、Y、Z軸の方向は、図中に示す通りである。

【0018】微動ステージ50は、サブミクロン、ナノメータ単位で精密な位置決めを行うもので、その一例として弾性変形体で移動テーブルを支持し、圧電素子、サーボモータ等のアクチュエータにより駆動位置決めする構造を図4に示す（特願平02-12122号）。図4に示すように、枠体としてのフレーム54及びベース60に、案内機構としての弾性変形体55によって被駆動体としてのテーブル56がX、Y、Z方向に移動自在に支持されている。更に、フレーム54及びベース60とテーブル56との間にX軸アクチュエータ51、Y軸アクチュエータ57-a、57-b及びZ軸アクチュエータ59が介装され、これらのアクチュエータ51、57-a、57-b、59により、テーブル56を付勢することで、X軸Y軸及びZ軸方向に位置決めすることができる。

【0019】弾性変形体55は、ヒンジはねあるいは板はね等で、X軸アクチュエータ51、Y軸アクチュエータ57-a、57-b及びZ軸アクチュエータ59は圧電素子またはサーボモータ等で構成することができる。本実施例では、各アクチュエータ51、57-a、57-b、59は、圧電素子で構成した。テーブル56の近傍には、このテーブルのX軸方向及びY軸方向の位置（変位）を検出するX軸変位センサ53-a、53-b及びY軸変位センサ58が配置されている。この変位センサには、静電容量型変位センサまたはレーザ変位計等を用いて、テーブル56の移動量を検出し、図1に示すアンプ72を介して、積層装置の制御装置63に伝送され、処理される。

【0020】図5は、微動ステージ50による二枚のウェーハの位置合わせ要領を示したもので、薄層化ウェーハ11の2点のマークの位置A。点及びB。点に対して、下地ウェーハ21の2点のマークの位置A及びBの偏差量は下式で示される。

A。点に対するA点の偏差量 縦方向： $\Delta Y_1$ 、横方向： $\Delta X_1$

B。点に対するB点の偏差量 縦方向： $\Delta Y_2$ 、横方向： $\Delta X_2$

従って、次式で示されるように、下地ウェーハ21の中心OをY方向及びX方向に移動させると共に $\theta$ 軸回りに回転させ、薄層化ウェーハ11の中心O。に一致させることにより、位置合わせする必要がある。

Y方向  $Y = -(\Delta Y_1 + \Delta Y_2) / 2$

X方向  $X = -(\Delta X_1 + \Delta X_2) / 2$

回転方向  $\theta = \tan^{-1} \{ (\Delta X_1 - \Delta X_2) / L_s \}$

尚、 $L_s$ は、A、B二点間の距離である。

【0021】この移動量に相当する制御信号を微動ステージ50のテーブル56を駆動するX軸及びY軸のアクチュエータ51、57-a、57-bに伝送し、テーブル56に設けられた弾性変形体55を介して移動させ、位置合わせを行う。図5に示すような微動ステージの構成の場合、Y方向の移動量は、テーブル56をはさんでX軸方向に $L_s$ の距離をもって設置されたアクチュエータ57-a、57-bに対向設置されたY軸変位センサ58で検出され、X方向の移動量はテーブル56をはさんで、アクチュエータ51に対向設置されたX軸変位センサ53-aにより検出される。

【0022】回転角は、X軸変位センサ53-aと、それから距離 $L_s$ だけ離れて設置されたX軸変位センサ53-bとによって検出される。なお、ズレ量が大きく、微動ステージ50だけで移動量がまかなえない場合は、粗動ステージ駆動用アクチュエータ47にドライバ48を介して信号を与え、粗動ステージ46を駆動する。図5に示す、ウェーハの位置偏差の確認は、ウェーハ上の二点を図1に示すような双眼の赤外線顕微鏡34により捉え、カメラ39により画像をモニタ61に出力し、目視確認を行うとともに、画像処理装置62により、画像処理を行い、偏差量を検出し、制御装置63へ伝送することにより行う。

【0023】ウェーハには、例えば十字状の位置合わせ用のマークが設けてあり、これを顕微鏡により確認しながら位置合わせを行う。制御装置63では、偏差量に基づいて、クローズドループ制御することにより、各軸の移動量を演算処理し、サーボモータドライバ48あるいは圧電素子制御アンプ52に信号を伝送し、粗動ステージ46および微動ステージ50を動かして二枚のウェーハの位置合わせを行う。なお、X、Y軸方向の位置合わせの前には、偏差量の検出誤差を少なくするために、二枚のウェーハのZ軸方向の平行調整を行う必要があるが、これは、前述した真空チャック43の円周少なくとも3点以上に設けたギャップセンサ66により、石英ガラス12とのギャップを検出し、同じギャップ量となるように、制御装置63が微動ステージ50のZ軸アクチュエータ59をクローズドループ制御することにより可能である。

【0024】薄層化ウェーハ11と下地ウェーハ21の位置合わせが終わると、図7(d)に示すように、粗動Zステージ46-aにより真空チャック43に吸着固定した下地ウェーハ21を、石英ガラスに接着固定している薄層化ウェーハ11に押し当て、その時の押し当て荷重をロードセル45により検出し、所定の押し当て荷重に近いところまで粗動Zステージ46-aにより押し当て、その後、図7(e)に示すように、所定の押し当て荷重になるようにロードセル45の検出値により微動ステージ50のZ軸アクチュエータ59を駆動し続けるよ

うに制御回路63はクローズドループ制御する。

【0025】ロードセル45による押し当て荷重を制御する他に、真空チャック43に設けたギャップセンサ66によるギャップ量での調整も可能である。所定の押し当て荷重あるいはギャップ量が得られると、制御装置63からの指令をドライバ65を介してサーボモータ64に伝えてボールねじ71を駆動させることにより、ガイドバー70に支えられている赤外線顕微鏡34及び紫外線照射装置40をX軸方向に移動させ、赤外線顕微鏡34を退避させるとともに、紫外線照射装置を貼り合わせ

た二枚のウェーハ上に移動させる。  
【0026】この時、必要であればY軸方向の駆動モータ73により、ボールねじ（図示省略）を駆動させ、走行架台31上のガイドレール32上を、台車33を走行させてY軸方向の位置決めを行う。その後、紫外線を一定時間照射して硬化させることにより、図7（f）に示すように三次元的に積層したLSIが得られる。この後、真空チャック43の吸引を停止し、粗動Zステージ46-a及び微動ステージ50により真空チャック43を下降させることにより、積層されたウェーハは石英ガラス12側に残る。これを取り出して、次工程へ送る。積層終了の場合、ワックスを取り除いて石英ガラス12より剥離する。さらに積層する場合は、得られた積層ウェーハを薄層化し、以下同じ手順で積層する。

【0027】次に、図2を参照して、本発明の他の実施例を説明する。基本的な構成は図1と同じである。但し、粗動ステージ46と微動ステージ50とを上下逆に入替え、ロードセル45を石英ガラス12の上側に設置したこと、さらに、顕微鏡34を反射型にし、赤外光源ユニット44からの光を顕微鏡34を通過させて、光を透過しない金属等の真空チャック43で反射させて二枚のウェーハの位置ズレを確認することにしたものである。なお、顕微鏡34の光源44には、通常ハロゲンランプを用い、カメラ39に、赤外線顕微鏡を用いるが光源44に赤外発光LED、カメラ39に近赤外感応型CCDカメラを使用することにより、安価に構成することも可能である。

【0028】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明は、二次元LSIを超精密に位置合わせて高精度に貼り合わせることができるため、二次元LSIの三次元化、光伝送化により、さらに高集積化、高速化を図った三次元光LSIの製作が容易に行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る三次元LSI積層装置の部分断面図である。

【図2】本発明の他の実施例に係る三次元LSI積層装置の部分断面図である。

【図3】図1のA-A矢視図である。

【図4】本発明に適用する微動ステージの一例を示す斜

視図である。

【図5】本発明におけるウェーハの位置合わせ要領を示す説明図である。

【図6】三次元光共有メモリの動作を示す概要図である。

【図7】三次元光LSIの積層の手順を示す工程図である。

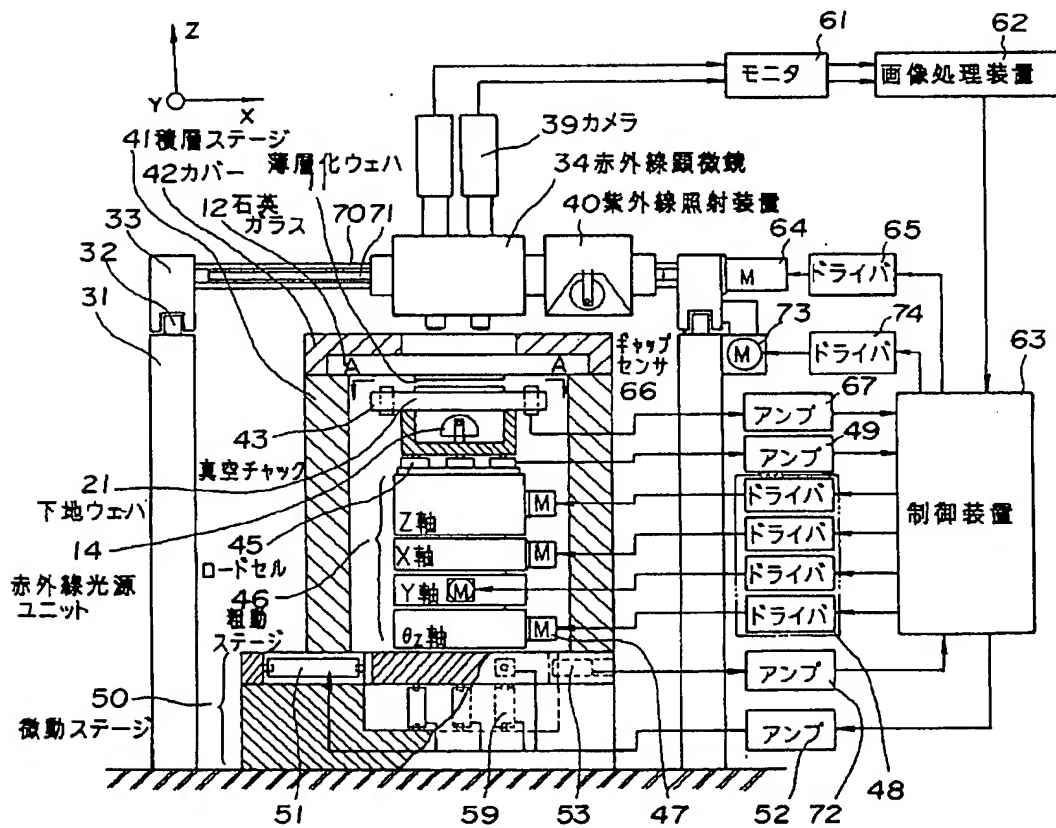
【符号の説明】

- 1 第1層ウェーハ
- 2 第2層ウェーハ
- 3 第3層ウェーハ
- 4 第n層ウェーハ
- 5 CPU
- 6 制御用CPU
- 7 迷光
- 8, 9 回路素子
- 10 紫外線
- 11 薄層化ウェーハ
- 12 石英ガラス
- 13 ワックス
- 14 紫外線硬化型接着剤
- 15 発光素子
- 17 光信号
- 20 三次元LSI
- 21 下地ウェーハ
- 21-a オリエンテーションフラット部
- 25 発光素子
- 26 受光素子
- 27 光信号
- 28 受光素子
- 31 走行架台
- 32 ガイドレール（Y軸）
- 33 台車
- 34 赤外線顕微鏡
- 35 発光素子
- 36 受光素子
- 39 カメラ
- 40 紫外線照射装置
- 41 積層ステージ
- 42 カバー
- 43 真空チャック
- 44 赤外線光源ユニット
- 45 ロードセル
- 46 粗動ステージ
- 46-a 粗動Zステージ
- 47 サーボモータ
- 48 ドライバ
- 49 ロードセルアンプ
- 50 微動ステージ
- 51 X軸アクチュエータ

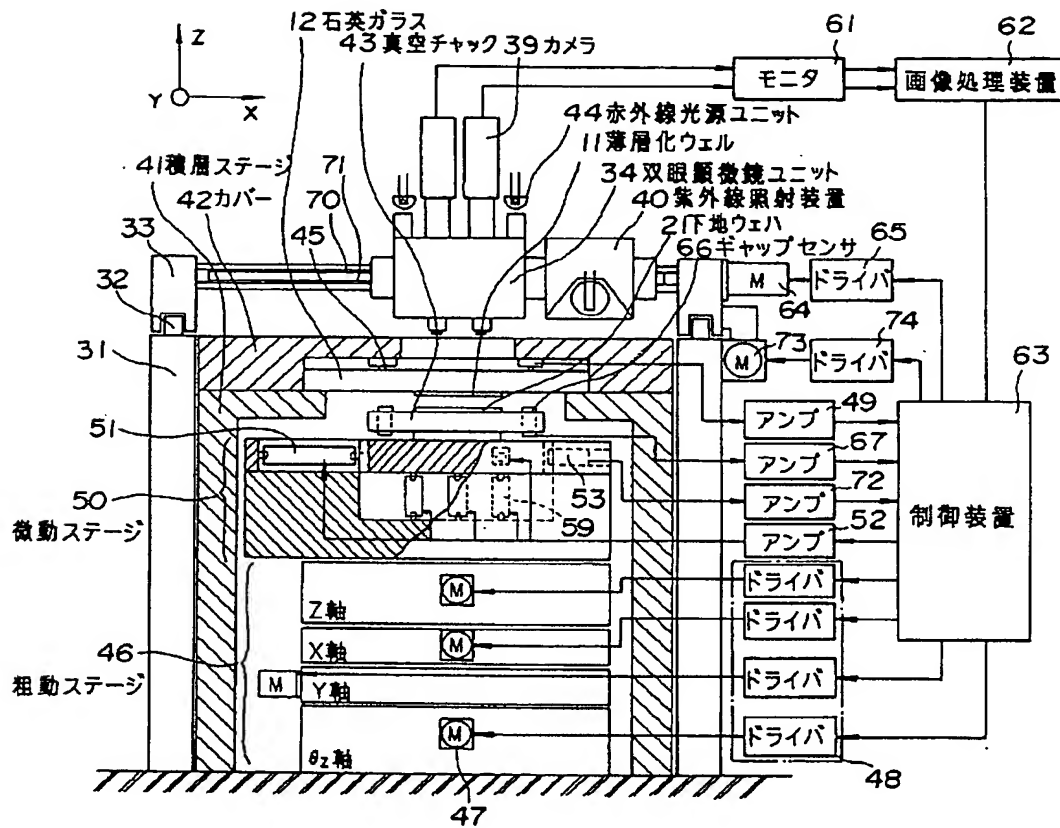
- 52 圧電素子制御アンプ
- 53 X軸変位センサ
- 54 フレーム
- 55 弾性体
- 56 テーブル
- 57 Y軸アクチュエータ
- 58 Y軸変位センサ
- 59 Z軸アクチュエータ
- 60 ベース
- 61 モニタ
- 62 画像処理装置

- \* 63 制御装置
- 64 X軸駆動モータ
- 65 X軸モータドライバ
- 66 ギャップセンサ
- 67 ギャップセンサアンプ
- 68, 69 位置決めピン
- 70 X軸ガイドバー
- 71 X軸ボールねじ
- 72 X, Y軸変位センサアンプ
- 10 73 Y軸駆動モータ
- \* 74 Y軸モータドライバ

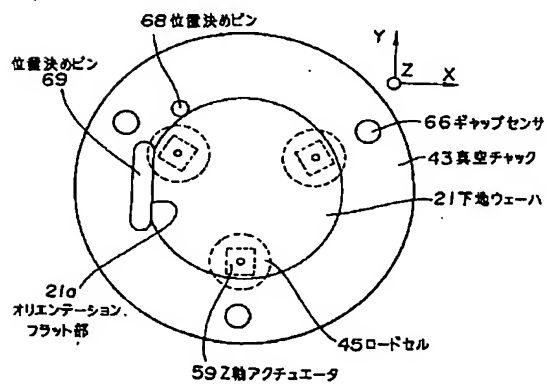
【図1】



【図2】

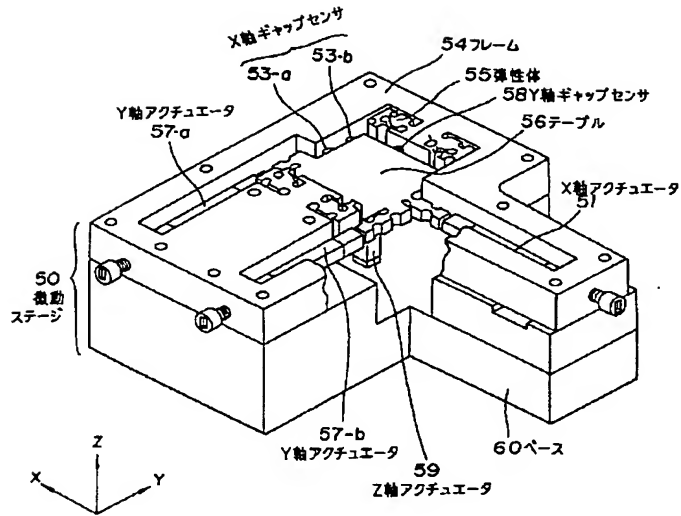


【図3】

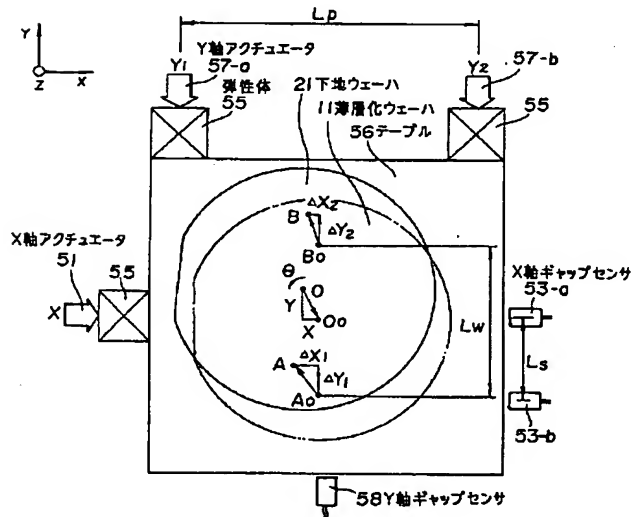




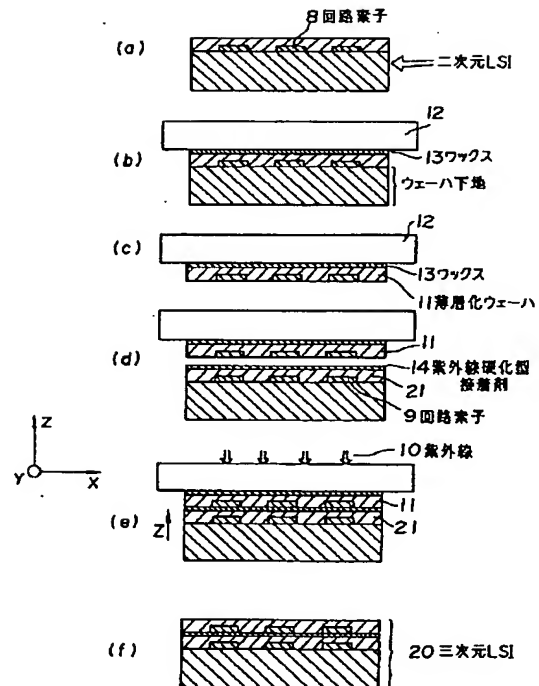
【図4】



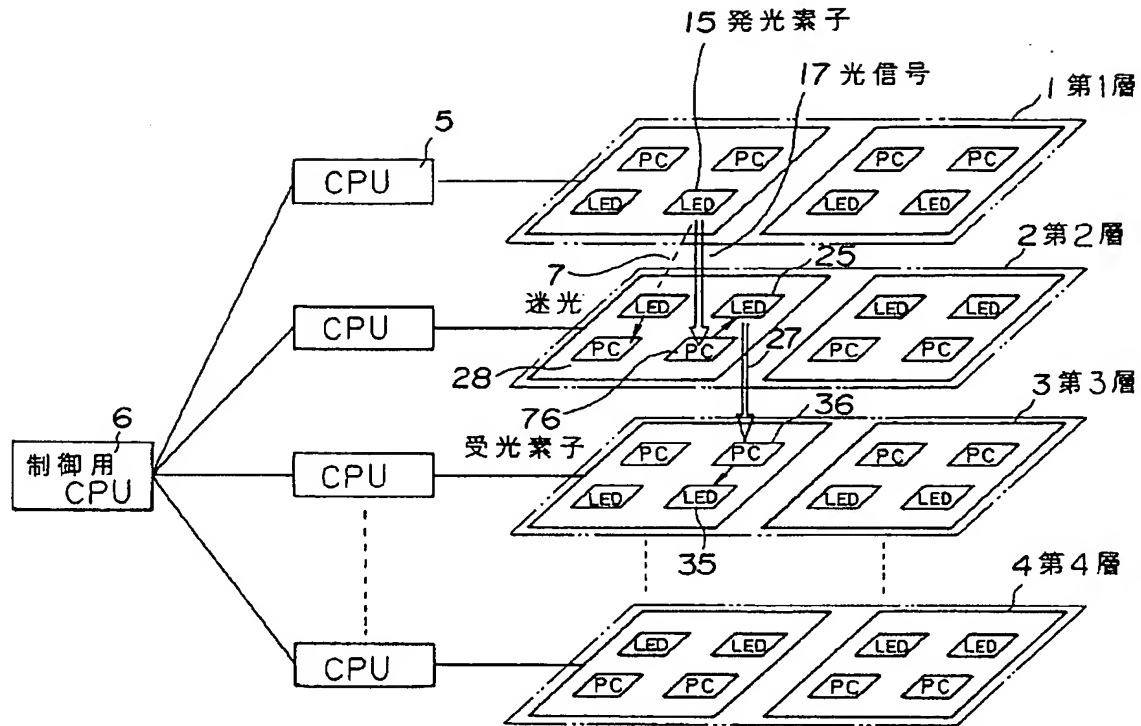
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 塚本 顕彦  
 広島県広島市西区観音新町四丁目6番22号  
 三菱重工業株式会社広島研究所内  
 (72)発明者 猪谷 彦太郎  
 広島県広島市西区観音新町四丁目6番22号  
 三菱重工業株式会社広島研究所内

(72)発明者 堀内 聖二  
 広島県広島市西区観音新町四丁目6番22号  
 三菱重工業株式会社広島研究所内  
 (72)発明者 益本 雅典  
 広島県広島市西区観音新町四丁目6番22号  
 三菱重工業株式会社広島研究所内  
 (72)発明者 後藤 崇之  
 神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1  
 三菱重工業株式会社基盤技術研究所内